Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 4, Winter. 2020, p. 661-672

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸، ص. ۶۷۲-۶۶۱

تأثیر حاصلخیزکننده‌های خاک بر ترکیبات فنلی، فعالیت آنتی‌اکسیدانتی و عملکرد اندام‌های رویشی گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) تحت تنش کم‌آبی

حامد کشاورز[۱]، سید علی محمد مدرس ثانوی[۲*]، فاطمه سفیدکن[۳]، علی مختصی بیدگلی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۱۰

چکیده

کمبود آب در ایران همواره به‌عنوان عامل محدودکننده تولید محصولات زراعی و باغی به‌شمار می‌رود. در این شرایط، نحوه جذب عناصر غذایی و انجام فرآیندهای متابولیسمی گیاهان متفاوت بوده و می‌تواند سبب کاهش رشد گردد که میزان این کاهش همواره با تغییرات مهمی در خصوصیات کیفی گیاهان ازجمله گیاهان دارویی همراه است. در همین راستا برای بررسی تنش کم‌آبی (در سه سطح بدون تنش، تنش متوسط و تنش شدید) و شش رژیم کودی (تأمین نیاز کود نیتروژن گیاه به‌وسیله تلفیقی از کود ورمی‌کمپوست و کود اوره)، آزمایشی در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس در سال ۱۳۹۷ انجام شد. صفات مورد مطالعه شامل میزان کلروفیل، فلاوونوئید، آنتوسیانین، کارتنوئید، DPPH فنول‌های کل، ارتفاع، شاخص سطح برگ، وزن خشک بیوماس، درصد و عملکرد اسانس بودند. نتایج حاکی از آن بود که تیمار کم‌آبی باعث کاهش میزان کلروفیل برگ، DPPH، ارتفاع گیاه، شاخص سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و عملکرد اسانس شد. اگرچه میزان فلاونوئیدها، کارتنوئید، فنل‌های کل و درصد اسانس با کم‌آبیاری متوسط افزایش و در کم‌آبیاری شدید دوباره کاهش یافتند. افزایش میزان ورمی‌کمپوست در تیمار کودی منجر به افزایش مقدار صفات فیزیولوژیک و رویشی گیاه نعناع فلفلی شد. مطابق نتایج به‌دست آمده از اثر متقابل دو تیمار، بیشترین ارتفاع گیاه، وزن خشک اندام هوایی و عملکرد اسانس در شرایط آبیاری مطلوب و تیمار ۱۴ تن ورمی‌کمپوست به‌دست آمد. بیشترین میزان فنل‌های کل در کم‌آبیاری متوسط و کود تلفیقی ۷۰ کیلوگرم اوره+۷ تن ورمی‌کمپوست حاصل شد. همچنین بیشترین درصد اسانس و میزان فلاونوئیدها در کم‌آبیاری متوسط همراه با ۱۴ تن کود ورمی‌کمپوست مشاهده شد. به‌طور کلی نتایج نشان داد در بین رژیم‌های آبیاری، کود ورمی‌کمپوست هم در عملکرد رویشی و هم در صفات فیزیولوژیک گیاه اثر مثبتی داشت.

واژه‌های کلیدی: درصد اسانس، رنگدانه، کمپوست، DPPH

مقدمه

نعناع فلفلی یکی از پرمصرف‌ترین گیاهان دارویی است که مقدار مصرف سالانه‌ی اسانس آن در جهان به حدود ۷۰۰۰ تن می‌رسد (Kazem Alvandi *et al.*, 2010). نعناع فلفلی یک گیاه دورگ (هیبرید) است که خود به‌خود در طبیعت به‌وجود آمده و والدین آن را *M.spicata* و *M.aquatica* ذکر کرده‌اند (Figueroa-Perez *et al.*, 2014). طعم تند برگ‌های آن سبب معروفیت این گیاه به نام نعناع‌فلفلی شده است. بیشتر ترکیبات اسانس نعناع‌فلفلی از ترکیبات فنلی تشکیل شده است که دارای خواص آنتی‌اکسیدانی و ضدمیکروبی می‌باشد و در نتیجه قابلیت استفاده به‌عنوان نگهدارنده در مواد غذایی را دارند. همچنین اسانس این گیاه کاربردهای متنوعی در پزشکی و صنایع داروسازی دارد.

نعناع‌فلفلی در طول رویش و برای تولید مواد موثره به مقدار زیادی عناصر غذایی نیاز دارد. تحقیقات نشان می‌دهد که مقادیر مناسب نیتروژن به میزان قابل‌توجهی سبب افزایش اسانس نعناع می‌شود (Ghanbari and Ariafar, 2013). از آنجا که نیتروژن جزو مهمی از مولکول کلروفیل است لذا هرچه عرضه آن بیشتر گردد برگ‌ها بزرگ‌تر شده و سطح کربن‌گیری افزایش می‌یابد. همراه با افزایش ساخته شدن مواد هیدروکربنه زیست‌توده گیاه نیز بیشتر می‌شود. از طرفی با افزایش سطح برگ تعداد کرک‌های ترشح‌کننده اسانس این گیاه زیادتر می‌شود که متعاقب آن مقدار اسانس استخراجی نیز افزایش می‌یابد. البته مقدار نیتروژن مصرفی حد آستانه‌ای دارد و افزایش بیش از حد کودهای نیتروژن منجر به کاهش اسانس خواهد شد (Abdel Rahman, 2008).

یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و نمو و پراکنش گیاهان تنش خشکی است. تنش خشکی معمولاً باعث ایجاد تنش اکسیداتیو می‌شود. این فرآیند از طریق بسته شدن دریچه روزنه‌ای اتفاق می‌افتد، که باعث کاهش شدید عمل زنجیره الکترونی

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲- استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۳- استاد، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران، ایران
۴- استادیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: modaresa@modares.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v17i4.80548

فتوسنتزی و افزایش تشکیل انواع اکسیژن فعال در کلروپلاست‌ها و میتوکندری‌ها می‌شود. انواع اکسیژن‌های فعال می‌توانند به‌وسیله آسیب‌های اکسیداتیو به چربی‌ها، پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک، آنزیم‌ها و رنگدانه‌های فتوسنتزی باعث اختلال در متابولیسم‌های طبیعی گیاه شود (Abreu and Mazzafera, 2005). به‌منظور غلبه بر تنش اکسیداتیو، گیاهان دارای مکانیسم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانت آنزیمی و غیرآنزیمی می‌باشند تا انواع اکسیژن فعال را از بین ببرند. ترکیبات پلی‌فنلی ازجمله آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت هستند. کارتنوئیدها مثل بتاکاروتن و گزانتوفیل‌ها، آنتی‌اکسیدانت‌های غیرآنزیمی هستند که می‌توانند انواع اکسیژن فعال را از بین ببرند و از دستگاه فتوسنتزی حفاظت می‌نمایند. رادیکال $DPPH^{\bullet}$ یک رادیکال لیپوفیل است که دارای جذب بیشینه است (میزان جذب مولی $DPPH^{\bullet}$ در طول موج ۵۱۵ نانومتر، ۱۲۵۰۰ $M^{-1}cm^{-1}$ است). در آزمون $DPPH^{\bullet}$، رادیکال‌های $DPPH^{\bullet}$ با آنتی‌اکسیدانت‌ها واکنش داده و در نتیجه مقدار آن کاهش می‌یابد. بنابراین هرچه جذب کمتر باشد، گیاه دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانتی بیشتری است (Hernandez *et al.*, 2004).

عملکرد اندام هوایی و اسانس این گیاه به مقدار زیادی تحت تأثیر حاصلخیزی خاک و مسائل زراعی متعددی است. یکی از نیازهای مهم در برنامه‌ریزی زراعی به‌منظور حصول عملکرد با کمیت و کیفیت بالا، ارزیابی سیستم‌های مختلف تغذیه گیاه است. استفاده از کودهای شیمیایی یکی از سریع‌ترین راه‌ها برای جبران کمبود عناصر غذایی خاک می‌باشد که گسترش چشمگیری یافته است. در بسیاری موارد استفاده از کودهای شیمیایی باعث آلودگی‌های محیطی و صدمات اکولوژیکی بسیاری می‌شود که خود سبب افزایش هزینه‌های تولید می‌گردد. یکی از راهکارهای رفع این مشکلات استفاده از اصول کشاورزی پایدار در بوم‌نظام‌های زراعی می‌باشد. امروزه کودهای آلی به‌عنوان جایگزینی برای کودهای شیمیایی مطرح شده است. کودهای آلی قادرند عناصر غذایی پر مصرف را از فرم غیر قابل‌دسترس به فرم قابل‌دسترس تبدیل کرده و سبب بهبود رشد و نمو گیاه و نیز توسعه بیشتر سیستم ریشه‌ای گیاه شوند. همچنین مصرف کودهای آلی غالباً موجب بهبود شرایط فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک شده و حاصلخیزی آن را افزایش می‌دهد. کود آلی ورمی‌کمپوست شامل مخلوط زیستی بسیار فعالی از باکتری‌ها، آنزیم‌ها، بقایای گیاهی و پیله‌های کرم خاکی می‌باشد که استفاده از آن علاوه بر افزایش جمعیت و فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک، سبب فراهم شدن عناصر غذایی محلول مورد نیاز گیاه، بهبود شرایط فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و در مجموع بهبود رشد و عملکرد گیاه می‌شود. همچنین به علت داشتن ویژگی هوموسی، باعث نرمی بافت خاک، افزایش تهویه و ظرفیت نگهداری آب خاک، آزادسازی تدریجی مواد مغذی، کاهش آبشویی و از دست رفتن نیتروژن می‌گردد (Darzi *et al.*, 2010). نتایج مطالعات برخی پژوهشگران نشان می‌دهد که استفاده از کودهای آلی مانند ورمی‌کمپوست به‌صورت غنی شده با کود شیمیایی در مقایسه با مصرف جداگانه، رشد و عملکرد گیاه را به میزان بیشتری افزایش می‌دهد که این امر به دلیل تأثیر کودهای شیمیایی مصرفی در کاهش زمان لازم برای تجزیه کودهای آلی و در نتیجه فراهم شدن عناصر تغذیه‌ای برای گیاه می‌باشد (Hosseinzadeh *et al.*, 2016). در همین رابطه، گزارش شده که استفاده از مقادیر مختلف ورمی‌کمپوست در گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) باعث افزایش کمیت و کیفت اسانس، عملکرد اسانس و عملکرد بیولوژیک نسبت به شاهد می‌شود (Anwar *et al.*, 2005).

تنش کم‌آبی ضمن کاهش محتوای آب در بافت‌های گیاهان باعث محدود شدن رشد و برخی تغییرات فیزیولوژیکی و متابولیکی در آن‌ها می‌گردد. در همین راستا، قابلیت دسترسی عناصر غذایی مختلف در خاک تحت تأثیر تنش کم‌آبی تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای می‌یابد و گیاهی که خوب تغذیه شده باشد مقاومت بهتری به تنش کم‌آبی خواهد داشت (Sheteawi and Tawfik, 2007). ازطرفی، باید به این نکته نیز اشاره کرد که استفاده هم‌زمان ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی نه تنها فراهم شدن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را افزایش می‌دهد بلکه با بهبود شرایط فیزیکی و فرآیندهای حیاتی خاک، با ایجاد یک بستر مناسب برای رشد ریشه، موجب جذب حداکثری از رطوبت خاک می‌شود (Darzi *et al.*, 2010) که این واکنش در شرایط کم‌آبی می‌تواند مثمر ثمر باشد. در یک بررسی مشخص گردید که تنش کم‌آبی باعث بر هم زدن تعادل تغذیه‌ای در گیاهان می‌شود، البته با تغذیه مناسب می‌توان وضعیت رشد را در این شرایط تا حدی بهبود بخشید (Sheteawi and Tawfik, 2007).

ترکیبات فنلی یا پلی‌فنل‌ها با توجه به خواص درمانی متعدد (خاصیت ضد رادیکالی، خاصیت ضد سرطانی، خاصیت آنتی‌اکسیدانی و نیز فعالیت ضد میکروبی) برای سلامت انسان مفید هستند. به این ترتیب اندازه‌گیری این مواد در ماده اولیه گیاهان دارویی به‌عنوان یک صفت کیفی محسوب می‌شود. عوامل متعددی بر درصد و میزان ترکیبات فنلی عصاره استخراجی از گیاه نعناع فلفلی مؤثر هستند. در این زمینه می‌توان به عوامل مختلفی مانند عوامل ژنتیکی، شرایط محیطی از جمله سیستم‌های مختلف تغذیه‌ای، رطوبتی، میزان رسیدن و زمان برداشت اشاره کرد. حتی بین واریته‌های زراعی یک گونه نیز از نظر درصد و میزان ترکیبات فنلی تفاوت وجود دارد.

هرچند یکی از راه‌های مقابله با کمبود آب، استفاده از گیاهان مقاوم است اما در این بین می‌بایست ارزش اقتصادی گونه گیاهان را نیز در فرآیند تولید در نظر گرفت. بنابراین گمان می‌رود با به‌کارگیری کودهای مختلف ازجمله کمپوست بتوان هم بر میزان تولید گیاه نعناع‌فلفلی افزود و هم سبب افزایش میزان ماده موثره آن در شرایط بروز تنش خشکی شد. با توجه به اهمیت نعناع‌فلفلی به‌عنوان یک

گیاه دارویی و لزوم جایگزینی کودهای شیمیایی با کودهای آلی در راستای کشاورزی پایدار و تولید محصولات سالم، این پژوهش با هدف بررسی اثر تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی در شرایط سیستم‌های مختلف آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه نعناع فلفلی صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی رژیم‌های آبیاری و کودی بر عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی نعناع فلفلی در سال زراعی ۱۳۹۷ آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس انجام شد. رژیم آبیاری شامل مصرف ۲۵ درصد رطوبت قابل استفاده خاک (SAW[1]) در عمق توسعه ریشه (۳۰ سانتی‌متر) و سپس آبیاری تا حد ظرفیت زراعی (آبیاری مطلوب)، مصرف ۴۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک در عمق توسعه ریشه و سپس آبیاری تا حد ظرفیت زراعی (کم‌آبیاری متوسط) و مصرف ۵۵ درصد رطوبت قابل استفاده خاک در عمق توسعه ریشه و سپس آبیاری تا حد ظرفیت زراعی (کم‌آبیاری شدید) و رژیم کودی شامل عدم کاربرد کود (F_1)، ۱۴۰ کیلوگرم کود شیمیایی اوره (F_2)، ۱۱۰ کیلوگرم کود شیمیایی اوره + ۳/۵ تن در هکتار کود ورمی‌کمپوست (F_3)، ۷۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی اوره + ۷ تن در هکتار کود ورمی‌کمپوست (F_4)، ۳۵ کیلوگرم کود شیمیایی اوره + ۱۱ تن در هکتار کود ورمی‌کمپوست (F_5) و ۱۴ تن در هکتار کود ورمی‌کمپوست (F_6) در نظر گرفته شد. پس از کاشت ریزوم‌ها، کود اوره در دو تقسیط به فاصله ۴۵ روز از هم به‌صورت محلول در آب به‌کار برده شد. ورمی‌کمپوست نیز قبل از کشت به خاک اضافه گردید. در این آزمایش نیاز کود نیتروژن گیاه نعناع فلفلی ۱۴۰ کیلوگرم در هکتار تعیین گردید (Omidbaigi *et al.*, 2003). بر اساس نتایج آزمایش خاک، مزرعه تحقیقاتی مورد نظر تا عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک حاوی ۰/۶ درصد ماده آلی، هدایت الکتریکی ۱/۷۶ دسی‌زیمنس بر متر، نیترون کل ۰/۰۶ درصد اسیدیته گل اشباع ۷/۷۲ و وزن مخصوص ظاهری ۱/۳ (گرم در سانتی‌متر مکعب) می‌باشد. همچنین کود ورمی‌کمپوست مورد استفاده در این تحقیق دارای ۱/۸ درصد نیتروژن، هدایت الکتریکی ۲/۶۱ دسی-زیمنس بر متر، اسیدیته ۷/۲۴ و ماده آلی ۴۴ درصد بود.

ریزوم‌های نعناع فلفلی (۷-۵ سانتی‌متری) برای کشت از پژوهشکده گیاهان دارویی واقع در کیلومتر ۵۵ اتوبان تهران- قزوین، مجتمع تحقیقاتی جهاد دانشگاهی تهیه شد (cv. Black Mitcham). مراحل آماده‌سازی زمین با اجرای عملیات شخم، دیسک‌زنی برای خردکردن کلوخه‌ها و تسطیح برای کشت نعناع‌فلفلی آغاز گردید. به‌منظور اعمال صحیح تیمارها، پس از تعیین ابعاد هر کرت، تیمارها به‌طور تصادفی به واحدهای آزمایشی منتسب شد. آبیاری به‌صورت قطره‌ای و با استفاده از نوارهای آبیاری انجام گردید (Nedkov and Georgiev, 1991). هر واحد آزمایشی شامل شش ردیف کاشت به فاصله ۳۵ سانتی‌متر (عرض ۲۱۰ سانتی‌متر) و به طول چهار متر بود و فاصله‌ای حدود ۱۵ سانتی‌متر بین ریزوم‌ها لحاظ گردید. مساحت هر کرت حدود ۸/۴ مترمربع (۲/۱×۴) بود. سپس بر اساس نقشه مزرعه کود ورمی‌کمپوست، توسط کارگر با خاک هر کرت به‌طور کامل مخلوط شد. پس از اعمال تیمارهای کود ورمی‌کمپوست، ریزوم‌های نعناع فلفلی در اواخر اسفند ماه کشت گردید. به‌منظور جلوگیری از تداخل تیمارهای آزمایشی و سایر مراحل اجرای آزمایش فاصله‌ای به اندازه ۱/۵ متر بین بلوک‌ها و ۰/۷۵ متر بین کرت‌ها، لحاظ شد. مبارزه با علف‌های‌هرز به‌وسیله وجین دستی انجام گرفت.

بعد از گذشت ۳۰ روز از کشت، تیمارهای آبیاری اعمال شد. قبل از آن تمام گیاهان به‌طور یکسان و زمانی که رطوبت خاک در حد ۷۵٪ ظرفیت زراعی بود آبیاری گردیدند. برای تعیین سطوح مختلف آبیاری از روابط ارائه شده توسط Behera and Panda (2009) استفاده شد. در این روش، برنامه زمان‌بندی آبیاری بر اساس درصد تخلیه آب خاک در منطقه ریشه است. مقدار آب خاک با استفاده از دستگاه انعکاس‌سنجی زمانی (TDR[2]) در عمق ذکر شده تعیین شد. نسبت به نقطه ظرفیت زراعی از منحنی‌های کالیبراسیون برای تعیین رابطه بین مقدار عددی ارائه شده توسط دستگاه و مقدار حجمی رطوبت خاک استفاده گردید. همچنین برای تعیین و کنترل مقدار آب آبیاری از لوله‌های مجهز به کنتور استفاده شد با توجه به محاسبه ظرفیت زراعی مزرعه[3] و نقطه پژمردگی دائم (PWP) که با آزمون خاک به‌دست آمد، حداکثر توان گیاه در تحمل تنش کم‌آبی محاسبه شد (Behera and Panda, 2009) (خروج حدوداً ۶۰ درصد از آب قابل دسترس خاک). در واقع خروج بیش از این مقدار باعث از بین رفتن گیاه می‌شد. از آنجا که در بررسی مقالات زمان آبیاری گیاه نعناع فلفلی بعد از خروج ۲۵ درصد آب قابل دسترس خاک عنوان شده بود (زمان مناسب آبیاری) (Omidbaigi *et al.*, 2003)، بر این اساس اقدام به انتخاب سطوح تیمار تنش کم‌آبی کردیم. به‌طوری‌که آبیاری بعد از خروج ۲۵ درصد آب قابل دسترس خاک به‌عنوان شرایط بدون تنش کم‌آبی (شاهد)، آبیاری بعد از خروج ۴۰ درصد آب قابل دسترس خاک به‌عنوان شرایط تنش متوسط کم‌آبی و آبیاری بعد از خروج ۵۵ درصد آب قابل دسترس خاک به‌عنوان شرایط تنش شدید کم‌آبی انتخاب شدند. فواصل بین سطوح تنش‌کم آبی نیز مساوی در نظر گرفته شد تا از لحاظ محاسبات آماری مشکل‌ساز نباشد.

1- Soil Available Water

2- Time Domain Reflectometry

3- Field capacity

قبل از برداشت نهایی (۱۳۹۷/۰۵/۰۳)، از آخرین برگ بالغ، نمونههایی درون فویل آلمینیومی پیچیده و به درون نیتروژن مایع انداخته شد و سپس تمام نمونهها تا انجام آزمایش‌های بیوشیمیایی درون فریزر ۸۰- نگهداری گردیدند. به‌منظور نمونه‌گیری در ۱۰٪ گل‌دهی، بوته‌ها از فاصله ۵ سانتی‌متری سطح خاک کف‌بر و برای اندازه‌گیری صفات مورد بررسی به آزمایشگاه منتقل گردید و سپس صفاتی از قبیل ارتفاع گیاه، وزن خشک اندام هوایی و شاخص سطح برگ (به‌وسیله دستگاه Delta-T area meter; Delta-T Devices Ltd., Cambridge, UK) اندازه‌گیری شد. فنل‌های کل با استفاده از روش Folin-Ciocalteut (Soland and Laima, 1999)، کلروفیل کل و کارتنوئید با استفاده از روش (Arnon, 1949)، آنتوسیانین و فلاونوئید با استفاده از روش (Krizek *et al.*, 1993) محاسبه شد. برای مقایسه‌ی عصاره‌ها از نظر قدرت آنتی‌اکسیدانتی از روش IC50 (Half-inhibit Concentration) استفاده شد. بدین منظور ابتدا درصد مهار DPPH توسط رابطه (۱) محاسبه شد و نمودار آن در مقابل غلظت عصاره رسم گردید و IC50 که همان غلظتی از عصاره است که باعث مهار ۵۰ درصد رادیکال DPPH می‌شود، محاسبه شد. میزان اسانس برگ نیز از روش تقطیر با آب و دستگاه کلونجر و در نهایت عملکرد اسانس محاسبه گردید.

$$\text{DPPH درصد مهار} = 1 - \frac{Aa}{Ab} \times 100 \qquad (۱)$$

Aa: جذب نمونه

Ab: جذب شاهد (جذب اولیه DPPH به تنهایی)

تجزیه داده‌ها برای صفات مختلف با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (2009) انجام گرفت. در این تحقیق برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح ۵٪ استفاده شد.

نتایج و بحث

جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر رژیم آبیاری و کودی بر صفت کلروفیل کل معنی‌دار بود (جدول ۱). آبیاری مطلوب بیش‌ترین میزان (۳/۷۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) کلروفیل کل را دارا بود. اعمال تنش کم‌آبی باعث کاهش میزان کلروفیل گیاه شد به‌طوری‌که در کم‌آبیاری شدید نسبت به آبیاری مطلوب کاهش ۳۲ درصدی در غلظت کلروفیل مشاهده شد (جدول ۲). کود ورمی‌کمپوست (F_6) بیشترین تأثیر را بر غلظت کلروفیل کل داشت به‌طوری‌که باعث افزایش ۳۱ درصدی غلظت کلروفیل نسبت به شاهد شد (جدول ۲). در برخی گیاهان کاهش مقدار رنگدانه‌های کلروفیل به‌عنوان مکانیسم حفاظت نوری به‌کار گرفته می‌شود تا با کاهش جذب نور، از زنجیره فتوسنتزی گیاه حفاظت نمایند (Lima *et al.*, 2002). عمده ترکیب‌های رنگدانه‌های فتوسنتزی دارای ساختار نیتروژنی هستند. از این‌رو کاربرد نیتروژن و کودهای حاوی نیتروژن بالا می‌تواند تا حد زیادی سبب افزایش مقدار آن‌ها در گیاه شود. نتایج این آزمایش نشان داد که در شرایط تنش کم‌آبی، تیمارهای حاوی کود ورمی‌کمپوست در مقایسه با کود شیمیایی توانسته بهتر عمل کند و این تیمار کودی از میزان کلروفیل کل بیشتری برخوردار بوده است.

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای مختلف آبی و کودی بر صفات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه نعناع فلفلی

Table 1- Analysis of variance (mean squares) of different irrigation and fertilizer treatments on physiological traits, yield and yield components of peppermint

SOV	درجه آزادی df	کلروفیل کل Total chlorophyll	فلاوونوئیدها Flavonoids	آنتوسیانین Antocianin	کارتنوئید Cartenoids	DPPH	فنول‌های کل Total phenol	ارتفاع گیاه Plant height	شاخص سطح برگ Leaf area index	وزن خشک اندام هوایی Total dry weight	درصد روغن Oil content	عملکرد روغن Oil yield
Block بلوک	2	0.01 ns	0.0008 ns	0.01 ns	0.08 ns	54.1 ns	8.61 ns	17.37 ns	0.03 ns	184901.3 ns	0.014 ns	7.84 ns
Irrigation آبیاری	2	6.71 **	0.02 **	2.51 **	0.65 **	5603.3 **	74.96 **	750.45 **	8.19 **	1567400.7 **	0.74 **	2630.7 **
Main خطای اصلی	4	0.09	0.0007	0.02	0.01	67.8	2.40	16.52	0.21	172930.06	0.01	37.20
Fertilizer تیمار کودی	5	1.4 **	0.0014 *	0.051 ns	0.12 *	581.3 **	9.86 **	203.05 **	0.92 **	2116529.3 **	0.079 **	437.003 **
اثر متقابل آبیاری در کود Irrigation×Fertilizer	10	0.20 ns	0.0012 *	0.037 ns	0.01 ns	83.2 ns	5.021 **	24.65 *	0.10 ns	322078.0 *	0.019 *	80.05 **
Error خطای کل	30	0.11	0.0004	0.02	0.03	61.2	1.61	10.42	0.16	148320.84	0.0082	16.41
CV (%) ضریب تغییرات		10.9	10.9	14.9	13.8	11.2	8.0	11.1	13.6	11.6	10.4	13.6

ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

**,* and ns significant at 0.01, 0.05 probability level and no significant, respectively.

رژیم‌های آبیاری و کودی و همچنین برهمکنش میان این دو فاکتور بر غلظت فلاوونوئید معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین غلظت (۰/۲۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) فلاوونوئید مربوط به تیمار کم‌آبیاری متوسط به همراه کود ورمی‌کمپوست (F_6) بود به‌طوری‌که نسبت به عدم کاربرد کود در آبیاری مطلوب (شاهد) ۴۸ درصد افزایش داشت (جدول ۳). غلظت آنتوسیانین تنها تحت تأثیر رژیم آبیاری قرار گرفت (جدول ۱). بیشترین (۱/۳۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کمترین (۰/۶۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) غلظت آنتوسیانین به‌ترتیب در کم‌آبیاری شدید و آبیاری مطلوب مشاهده شد (جدول ۲). تجزیه واریانس نشان داد اثرات اصلی رژیم آبیاری و کودی بر میزان کارتنوئید معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین میزان کارتنوئید در کم‌آبیاری متوسط به‌دست آمد و نسبت به شرایط بدون تنش ۲۴ درصد افزایش نشان داد. اما در

شرایط کم‌آبیاری شدید میزان کارتنوئید کاهش یافت (جدول ۲). ترکیب کودی F_5 باعث افزایش میزان کارتنوئید گیاه شد که با تیمار F_3، F_4 و F_6 تفاوت معنی‌داری نداشت. در واقع افزایش سهم کود آلی در ترکیب کودی باعث سیر صعودی میزان کارتنوئید گردید اگرچه در تیمار ورمی‌کمپوست (F_6) این روند کاهش یافت (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات آبیاری و کودی بر صفات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه نعناع فلفلی

Table 2- Mean comparisons for main effects of irrigation and fertilizer treatment on physiological traits, yield and yield components of peppermint

	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg g^{-1} FW)	آنتوسیانین Antocianin (mg g^{-1} FW)	کارتنوئید Cartenoids (mg g^{-1} FW)	DPPH (%)	شاخص سطح برگ Leaf area index
Irrigation treatment تیمار آبیاری					
Normal irrigation آبیاری مطلوب	3.78	0.61	1.16	84.4	3.68
Mild water deficit کم‌آبیاری متوسط	3.08	0.87	1.54	65.8	2.90
Severe water deficit کم‌آبیاری شدید	2.57	1.35	1.28	49.5	2.33
LSD value (5%)	0.28	0.14	0.12		0.43
Fertilizer treatments تیمارهای کودی					
No fertilizer (F1) عدم کاربرد کود	2.49	0.86	1.17	76.2	2.45
140 kg.ha^{-1} Urea (F2) ۱۴۰ کیلوگرم کود اوره	2.94	0.95	1.21	76.9	2.84
۱۱۰ کیلوگرم اوره+۳/۵ تن ورمی‌کمپوست (F3) 110 kg.ha^{-1} Urea+3.5 t.ha^{-1} Vermicompost	3.12	0.91	1.34	73.3	2.98
۷۰ کیلوگرم اوره+۷ تن ورمی‌کمپوست (F4) 70 kg.ha^{-1} Urea+7 t.ha^{-1} Vermicompost	3.17	0.88	1.45	63.2	2.95
۳۵ کیلوگرم اوره+۱۱ تن ورمی‌کمپوست (F5) 35 kg.ha^{-1} Urea+11 t.ha^{-1} Vermicompost	3.54	0.99	1.46	61.7	3.24
14 t.ha^{-1} Vermicompost (F6) ۱۴ تن ورمی‌کمپوست	3.60	1.07	1.32	55.0	3.36
LSD value (5%)	0.33	0.13	0.17		0.39

مشاهدات حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از آن است که اثرات اصلی رژیم آبیاری و کودی و اثر متقابل این دو فاکتور تأثیر معنی‌داری بر میزان فنل‌های کل گیاه نعناع فلفلی داشتند (جدول ۱). مقدار فنل‌های کل در شرایط کم‌آبیاری متوسط، با افزایش مقدار ورمی‌کمپوست در تیمار کودی، افزایش یافته و در تیمار F_4 بیشترین مقدار فنل‌های کل مشاهده شد (۲۰/۲۳ mg GAE/g DW) ولی با تیمار F_5 و F_6 در همین رژیم آبیاری تفاوت آماری معنی‌داری نداشت (جدول ۳) و نسبت به تیمار عدم کاربرد کود و آبیاری مطلوب افزایش ۴۰ درصدی را نشان داد. کمترین مقدار فنل‌های کل به تیمار عدم کاربرد کود در آبیاری مطلوب تعلق داشت که با تیمارهای F_2، F_3 و F_6 در همین رژیم آبیاری و عدم کاربرد کود و F_5 و F_6 در کم‌آبیاری شدید تفاوت آماری معنی‌داری نداشت (جدول ۳).

با توجه به نتایج این پژوهش با افزایش شدت کم‌آبی، میزان فنل‌های کل، فلاونوئیدها، آنتوسیانین و کارتنوئید به‌عنوان متابولیت‌های ثانویه افزایش یافت، که به‌عنوان یک شاخص بالقوه برای دفاع آنتی‌اکسیدانی است (Sangtarash *et al.*, 2009). زمانی‌که گیاه در معرض تنش قرار می‌گیرد مقدار زیادی از گونه‌های فعال اکسیژن تولید می‌شود. در بسیاری از گیاهان، سیستم آنزیمی برای از بین بردن این رادیکال‌ها فعال می‌شوند پیش از آن‌که سیستم آنزیمی وارد عمل شود، فلاونوئیدها، آنتوسیانین و کارتنوئید دست به کار شده و به‌عنوان یک رنگدانه آنتی‌اکسیدانتی غیرآنزیمی در پاک‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن عمل می‌کنند. خواص آنتی‌اکسیدانی فلاونوئید و کارتنوئید به اثر بازدارندگی آن‌ها در تنفس میتوکندریایی مربوط می‌شود و به‌طور غیرمستقیم به‌وسیله کلاته کردن آهن مانع تنش اکسیداتیو می‌شوند (Sangtarash *et al.*, 2009).

در شرایطی که جذب CO_2 مختل شده است تولید رادیکال‌های آزاد افزایش می‌یابد که باعث تخریب اجزای سلولی می‌شود. گزارش شده است که تغییر در ترکیبات فنلیکی همراه با تغییر در فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز[1] می‌باشد، آنزیمی که نقش کلیدی در مسیر فنیل پروپانوئید[2] دارد (Kacperska, 1993). به‌طورکلی، آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز با سرعت بخشیدن در تبدیل ال‌فنیل‌آلانین[3] به ترانس‌سینامیک‌اسید[4] که پیش ماده تولید ترکیبات فنلی است (Kim

---

1- Phenylalanine ammonia-lyase
2- Phenylpropanoids pathway
3- L-Phenyalanine
4- Trans-cinnamic acid

et al., 2006). باعث تسریع در تولید ترکیبات فنلی می‌شود. تحقیقات گذشته ثابت کرده که فعالیت این آنزیم در پاسخ به تنش‌های زنده و غیر زنده افزایش می‌یابد و اکثریت محققان بر این باورند که یکی از روش‌های حفظ سلول از شرایط تنش افزایش در تولید ترکیبات فنلیکی می‌باشد (Kacperska, 1993; Kim *et al*., 2006). خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد توسط ترکیبات مختلفی شامل ترکیبات فنلیکی انجام می‌شود. بنابراین طبق یافته‌های محققین تنش خشکی در برگ موجب فعال شدن مکانیسم‌های دفاعی شده که ساخت و ترکیبات فنلیکی را افزایش می‌دهد و در نهایت پاک‌سازی رادیکال‌های آزاد را به همراه دارد (Hura *et al*., 2008). در پژوهش حاضر افزایش میزان ترکیب‌های فنلی در تنش خشکی ارتباط مستقیم با ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آن‌ها دارد، که در گزارش‌های Figueroa-Perez *et al*. (2014) در گیاه نعناع‌فلفلی، Sangtarash *et al*., (2009) در گیاه شلغم (*Brassica rapa* L.) و Hernandez *et al*. (2004) در گیاه گل آفتابی (*Cistus clusii*) نیز نتایج مشابهی ارائه شده‌است. در کم‌آبیاری شدید میزان ترکیبات فنولیکی کاهش پیدا کرد. کاهش ظرفیت کلاته کردن می‌تواند دلیلی برای کاهش ترکیبات فنلیکی در کم‌آبیاری شدید باشد. همچنین در کم‌آبیاری شدید، گیاه خود را برای مرحله زایشی آماده می‌کند و ترکیبات فنلیکی از جمله فرآورده‌هایی هستند که برای گل رفتن گیاه استفاده می‌شود.

میزان پلی‌فنل برگ در اثر کاربرد کود شیمیایی نسبت به منابع آلی کمتر بود، در این رابطه می‌توان به سه نکته اشاره کرد: ۱) از جمله عواملی که می‌تواند باعث افزایش میزان پلی‌فنل در گیاه شود، تنش مواد غذایی (به‌ویژه نیتروژن) است. با کمبود نیتروژن رشد گیاه بیشتر از فتوسنتز کاهش پیدا می‌کند، این امر موجب می‌شود تا مازاد کربن نسبت به مواد غذایی، به ترکیبات دفاعی اختصاص داده شود که اساس ساختارشان کربن (مانند پلی‌فنل‌ها) است. در نتیجه با کاهش رشد گیاه، غلظت پلی‌فنل در گیاه افزایش پیدا می‌کند (Pant *et al*., 2009). گزارش شده که در سبزیجات برگ‌دار با کاهش غلظت نیتروژن (و در نتیجه کاهش رشد) ترکیبات فنلی افزایش پیدا می‌کنند (Zhao *et al*., 2007). ۲) نتایج پژوهشگران حاکی از این است که سنتز مواد پلی‌فنلی به‌وسیله نور تحریک می‌شوند (Palomino *et al*., 2000) و این ترکیبات باعث حفاظت گیاهان در مقابل اثرات مضر شدت بالای نور و نیز طیف‌های پرانرژی مثل ماورا بنفش می‌گردد (Makris *et al*., 2006). به‌نظر می‌رسد در این پژوهش تنش کم‌آبی و کاهش بایوماس، میزان ترکیبات فنلی گیاه افزایش یافته است. همچنین با کاهش سهم کود اوره و افزایش سهم ورمی‌کمپوست در کود تلفیقی تا حدودی گیاه با کمبود عناصر مواجه شده است که علت آن هم آزادسازی کند عناصر توسط کود ورمی‌کمپوست است و همچنین با توجه به سایه‌اندازی کم برگ‌ها روی هم (متأثر از کم‌آبی)، غلظت پلی‌فنل گیاه در پاسخ به شدت بالای نور و اشعه ماورابنفش افزایش یافته است. اما در تیمارهای F_5 و F_6 (در کم‌آبی متوسط) با افزایش میزان ورمی‌کمپوست در کود تلفیقی موجب بهبود فراهمی عناصر برای گیاه و در نتیجه کاهش فنل‌های کل گیاه شده است. ۳) با توجه به این‌که ترکیبات فنلی به pH بالا و حرارت مقاوم هستند (Friedman and Jürgens, 2000) به‌نظر می‌رسد کاربرد کود ورمی‌کمپوست با کاهش pH (Chen, 2006) باعث کاهش غلظت پلی‌فنل شد. در تحقیقی دیگر گزارش شد که با افزایش pH میزان فنل در جلبک‌های دریایی افزایش پیدا کرد (Navarro *et al*., 2008). با توجه به دسترسی راحت به نیتروژن در کود شیمیایی و احتمالاً کاهش pH در اثر کاربرد کود ورمی‌کمپوست، کمترین غلظت پلی‌فنل در تیمار تلفیقی شیمیایی و ورمی‌کمپوست حاصل شد. کاهش میزان کارتنوئیدها در شرایط تنش شدید خشکی نیز احتمالاً به علت تجزیه بتاکاروتن و تشکیل زآزانتین در چرخه زانتوفیل است (Sultana *et al*., 1999).

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثرات اصلی رژیم آبیاری و کودی بر DPPH معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانتی از آبیاری مطلوب به‌دست آمد و با افزایش شدت تنش کم‌آبی از میزان DPPH کاسته شد (جدول ۲). همچنین بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانتی از عدم کاربرد کود به‌دست آمد و با افزایش میزان کود آلی در سهم کود تلفیقی از فعالیت DPPH کاسته شد (جدول ۲). گیاهان با کاهش هدایت روزنه‌ای به‌منظور جلوگیری از هدر رفت آب، به تنش خشکی پاسخ می‌دهند. این پاسخ منجر به تشکیل رادیکال O_2 می‌شود. اندازه‌گیری آنتی‌اکسیدانت DPPH براساس تغییر رنگ DPPH از بنفش به زرد و کم شدن میزان جذب آن در طول موج ۵۱۵ در حضور آنتی‌اکسیدانت است. بنابراین مقدار کم DPPH نشان از فعالیت خوب سیستم آنتی‌اکسیدانتی گیاه می‌باشد. نتایج با حروف اختصاری CI_{50} که مخفف ظرفیت بازدارندگی می‌باشد نشان داده می‌شود که حاکی از مقدار آنتی‌اکسیدانتی است که با ۵۰ درصد DPPH واکنش می‌دهد. کودهای شیمیایی باعث کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانتی در گیاهان می‌شود در حالی‌که تغذیه گیاهان با ترکیبات آلی نتایج عکس داشته است. در واقع گیاه در شرایط تنش با تولید آنتی‌اکسیدانت‌هایی با وزن مولکولی کم مانند پلی‌فنل‌ها و فلاونوئیدها (Hernandez *et al*., 2004) می‌تواند به‌طور موثری اثرات مخرب رادیکال‌های آزاد را خنثی کند. در این رابطه همبستگی معنی‌دار و مثبتی بین فعالیت آنتی‌اکسیدانتی و میزان DPPH در گیاه ترب مشاهده شد (Kim *et al*., 2006).

اثرات اصلی و متقابل رژیم‌های آبیاری و کودی بر ارتفاع گیاه معنی‌دار بود (جدول ۱). به‌ترتیب بیشترین (۴۹/۰۲ سانتی‌متر) و کمترین (۱۶/۹۱ سانتی‌متر) ارتفاع گیاه در شرایط آبیاری مطلوب به‌همراه تیمار کودی ۱۴ تن ورمی‌کمپوست (F_6) و کم‌آبیاری شدید با عدم کاربرد کود به‌دست آمد (جدول ۳). در آبیاری مطلوب و

کم‌آبیاری متوسط، با اضافه شدن سهم ورمی‌کمپوست در رژیم کودی، ارتفاع گیاه افزایش پیدا کرد. اما در کم‌آبیاری شدید همین روند تا تیمار F_5 ادامه داشت اما در تیمار F_6 کاهش یافت. اثرات اصلی رژیم‌های آبیاری و کودی بر شاخص سطح برگ گیاه نعناع فلفلی معنی‌دار بود (جدول ۱) به‌طوری‌که در کم‌آبیاری نسبت به آبیاری مطلوب مقدار این صفت کاهش یافت (جدول ۲). بیشترین شاخص سطح برگ با میانگین ۳/۶۸ در آبیاری مطلوب مشاهده شد که ۳۶ درصد نسبت به کم‌آبیاری شدید با کمترین مقدار (۲/۳۳) بیشتر بود. رژیم کودی باعث افزایش معنی‌دار در شاخص سطح برگ نسبت به شاهد شد (جدول ۲). در بین تیمارهای کودی، تیمار ۱۴ تن ورمی‌کمپوست (F_6) با شاخص سطح برگ ۳/۳۶ بیشترین تأثیر را در افزایش شاخص برگ نشان داد که با F_5 و F_3 تفاوت آماری معنی‌داری نداشت. در واقع کود ورمی‌کمپوست باعث سیر صعودی در شاخص سطح برگ شد (جدول ۲). نیتروژن مهمترین عنصر در سنتز پروتئین‌هاست، دسترسی گیاه به نیتروژن از طریق تأثیر روی تقسیم و بزرگ شدن سلول‌ها در افزایش ارتفاع بوته بسیار مؤثر می‌باشد به‌همین دلیل ارتفاع گیاه با کاربرد کود نیتروژن افزایش می‌یابد. از آن‌جایی‌که میزان عناصر غذایی قابل دسترس گیاه، یکی از عوامل اصلی تعیین‌کننده رشد گیاه است لذا به نظر می‌رسد که تیمار عدم کاربرد به علت کمبود مواد غذایی رشد کمتری در مقایسه با سایر تیمارها در تمام سطوح آبیاری داشته است. ورمی‌کمپوست با کاهش فشردگی خاک و افزایش خلل و فرج آن موجب بهبود ساختار خاک و تهویه مناسب آن شده و از طرفی محتوای آب قابل دسترس خاک را افزایش می‌دهد (Darzi *et al.*, 2010). مجموعه این عوامل منجر به فراهمی مطلوب عناصر غذایی ضروری گیاه می‌گردد که نتیجه نهایی آن بهبود فتوسنتز بوده و تاثیر مثبت بر ارتفاع و شاخص سطح برگ گیاه نعناع فلفلی داشت. ترکیب دو کود ورمی‌کمپوست و اوره، به سبب تأثیر ورمی‌کمپوست در تأمین مناسب عناصر غذایی و نیز جلوگیری از آبشویی کود اوره، باعث افزایش ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ شد. نتایج مطالعه ولایی و همکاران (Velaiy *et al.*, 2010) نشان داد که با افزایش میزان کاربرد ورمی‌کمپوست از صفر به ۲۰ تن در هکتار، ارتفاع بوته گیاه دارویی ماریتیغال (*Silybum marianum* L.) به‌طورمعنی‌داری افزایش یافت. در مطالعه‌ای که توسط Saeid Nejad and Rezvani Moghaddam (2010) در خصوص اثر کودهای آلی بر اسانس گیاه زیره سبز (*Cuminum cyminum*) صورت گرفت مشاهده شد که کاربرد کودهای آلی سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته نسبت به شاهد شد، به‌طوری که گیاهان تحت تیمار تلفیقی اوره و ورمی‌کمپوست از بیشترین ارتفاع بوته برخوردار بودند.

وزن خشک اندام هوایی توسط رژیم‌های آبیاری و کودی و همچنین اثر متقابل این دو فاکتور تحت تأثیر قرار گرفت (جدول ۱). بیشترین و کمترین وزن خشک اندام هوایی به ترتیب در تیمارهای آبیاری مطلوب به‌همراه ورمی‌کمپوست (F_6) و کم‌آبیاری شدید بدون تیمار کودی به‌دست آمد (جدول ۲). با افزایش سهم ورمی‌کمپوست در رژیم کودی در آبیاری مطلوب و کم‌آبی متوسط وزن خشک اندام هوایی گیاه افزایش یافت اما در کم‌آبی شدید این روند تا تیمار F_4 ادامه داشت و بعد از آن سیر نزولی را طی نمود. تجزیه واریانس حاکی از آن بود که اثرات اصلی و متقابل فاکتورهای مورد مطالعه بر درصد اسانس معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین و کمترین درصد اسانس به ترتیب در تیمارهای کم‌آبیاری متوسط به‌همراه ۱۴ تن ورمی‌کمپوست (F_6) و کم‌آبیاری شدید و عدم کاربرد کود به دست آمد (جدول ۳).

درصد اسانس گیاه در کم‌آبی شدید بیشترین مقدار را نشان داد و با افزایش میزان ورمی‌کمپوست در رژیم کودی این روند سیر صعودی داشت. اگرچه بین تیمارهای حاوی کود ورمی‌کمپوست (F_3-F_6) تأثیر معنی‌داری در محتوای اسانس گیاه مشاهد نشد. با افزایش شدت تنش کم‌آبی از درصد اسانس گیاه کاسته شد حتی از شرایط آبیاری مطلوب نیز کمتر بود. مشاهدات حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از آن است که رژیم‌های آبیاری و کودی و اثر متقابل این دو فاکتور تأثیر معنی‌داری بر عملکرد اسانس نعناع‌فلفلی داشت (جدول ۱). این صفت در آبیاری مطلوب و تیمار F_6 به حداکثر خود رسید که با عملکرد اسانس در همین تیمار کودی و کم‌آبی متوسط نیز تفاوت معنی‌داری نداشت. تیمار آبیاری مطلوب به‌همراه ۱۴ تن ورمی‌کمپوست با میانگین ۴۸/۹۳ کیلوگرم در هکتار بیشترین و تیمار کم‌آبیاری شدید بدون تیمار کودی با میانگین ۸/۵ کیلوگرم کمترین عملکرد اسانس را داشتند (جدول ۳).

تنش کم‌آبی سبب کاهش عملکرد خشک گیاه شد. این نتایج با نتایج محققانی مانند Daneshnia *et al.* (2015) و Dadrasan *et al.* (2015) و Afshar *et al.* (2014) مطابقت دارد. وقتی گیاه با تنش کم‌آبی مواجه می‌شود، سعی بر کاهش از دست رفتن آب از طریق بستن روزنه‌های خود دارد، که به نوبه خود سبب کاهش قابلیت دسترسی CO_2 برای فتوسنتز و کاهش عملکرد خواهد شد (Sun *et al.*, 2013). همچنین در خاک‌های خشک، جریان عناصر غذایی به سمت ریشه گیاه و جذب مواد غذایی به‌وسیله گیاه کاهش می‌یابد که این خود دلیلی برای کاهش عملکرد در این شرایط می‌باشد (Díaz-López *et al.*, 2012). از طرفی تنش خشکی سبب افزایش متابولیت‌های ثانویه در گیاه می‌شود که بر طبق فرضیه موازنه رشد– تمایز هر کمبودی که رشد را بیش از فتوسنتز محدود کند تولید و تجمع متابولیت‌های ثانویه را افزایش می‌دهد (Herms and Mattson, 1992).

جدول ۳- اثر متقابل دوگانه آبیاری و کود بر صفات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد نعناع فلفلی

Table 3- Two-way interaction between irrigation and fertilizer on physiological traits, yield and yield components

Experimental treatments تیمارهای آزمایشی		فلاوونوئید **Flavonoid (mg.g^{-1} FW)**	فنل کل **Total phenol (mg GAE.g^{-1} DW)**	ارتفاع **Plant height (cm)**	وزن خشک اندام هوایی **Total dry weight (kg.ha^{-1})**	درصد اسانس **Oil content**	عملکرد اسانس **Oil yield (kg.ha^{-1})**
آبیاری مطلوب Normal irrigation	No fertilizer (F1) عدم کاربرد کود	0.13	12.27	26.92	3459.9	0.84	29.23
	140 kg.ha^{-1} urea (F2) ۱۴۰ کیلوگرم کود اوره	0.15	13.36	34.91	4472.3	0.91	41.14
	۱۱۰ کیلوگرم اوره+۳/۵ تن ورمی‌کمپوست (F3) 110 kg.ha^{-1} urea+3.5 t.ha^{-1} Vermicompost	0.16	14.07	35.58	4230.4	0.88	37.34
	۷۰ کیلوگرم اوره+۷ تن ورمی‌کمپوست (F4) 70 kg.ha^{-1} urea+7 t.ha^{-1} Vermicompost	0.17	15.15	36.88	3948.1	0.91	36.29
	۳۵ کیلوگرم اوره+۱۱ تن ورمی‌کمپوست (F5) 35 kg.ha^{-1} urea+11 t.ha^{-1} Vermicompost	0.14	15.31	38.15	4705.4	0.93	44.33
	14 t.ha^{-1} Vermicompost (F6) ۱۴ تن ورمی‌کمپوست	0.13	14.40	42.09	4888.6	1.00	48.93
کم‌آبیاری متوسط Mild water deficit	No fertilizer (F1) عدم کاربرد کود	0.18	15.56	17.21	2337.4	0.76	17.68
	140 kg.ha^{-1} urea (F2) ۱۴۰ کیلوگرم کود اوره	0.23	17.01	25.22	28864.4	0.92	26.46
	۱۱۰ کیلوگرم اوره+۳/۵ تن ورمی‌کمپوست (F3) 110 kg.ha^{-1} urea+3.5 t.ha^{-1} Vermicompost	0.22	17.87	30.87	2991.9	1.06	31.83
	۷۰ کیلوگرم اوره+۷ تن ورمی‌کمپوست (F4) 70 kg.ha^{-1} urea+7 t.ha^{-1} Vermicompost	0.20	20.23	30.17	3210.7	1.13	36.50
	۳۵ کیلوگرم اوره+۱۱ تن ورمی‌کمپوست (F5) 35 kg.ha^{-1} urea+11 t.ha^{-1} Vermicompost	0.24	19.29	31.35	3505.6	1.16	40.72
	14 t.ha^{-1} Vermicompost (F6) ۱۴ تن ورمی‌کمپوست	0.25	18.38	34.93	3936.0	1.21	47.94
کم‌آبیاری شدید Severe water deficit	No fertilizer (F1) عدم کاربرد کود	0.19	14.06	16.91	1614.5	0.52	8.50
	140 kg.ha^{-1} urea (F2) ۱۴۰ کیلوگرم کود اوره	0.19	17.26	19.87	2104.5	0.60	11.88
	۱۱۰ کیلوگرم اوره+۳/۵ تن ورمی‌کمپوست (F3) 110 kg.ha^{-1} urea+3.5 t.ha^{-1} Vermicompost	0.18	16.85	25.25	2361.7	0.63	14.81
	۷۰ کیلوگرم اوره+۷ تن ورمی‌کمپوست (F4) 70 kg.ha^{-1} urea+7 t.ha^{-1} Vermicompost	0.18	15.76	26.59	3263.0	0.78	25.57
	۳۵ کیلوگرم اوره+۱۱ تن ورمی‌کمپوست (F5) 35 kg.ha^{-1} urea+11 t.ha^{-1} Vermicompost	0.21	14.09	28.28	2906.2	0.71	20.66
	14 t.ha^{-1} Vermicompost (F6) ۱۴ تن ورمی‌کمپوست	0.23	14.06	20.47	2600.9	0.61	16.11
LSD value (5 %)		0.03	2.16	5.53	645.25	0.16	7.20

نتایج نشان داد که استفاده از کود، سبب افزایش عملکرد گیاه نسبت به شاهد شد و در بین کودهای مورد استفاده، کود ورمی‌کمپوست به‌تنهایی از عملکرد بیشتری برخوردار بود. علت بالاتر بودن عملکرد ماده خشک در تیمار کود آلی احتمالاً می‌تواند این باشد که علاوه بر این‌که کودهای آلی سبب بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شوند، موجب تأمین عناصر نیتروژن و فسفر مورد نیاز گیاه در طول دوره رشد گیاه شده که در نتیجه باعث ایجاد شرایط مناسب‌تر برای رشد و تولید گیاه می‌گردند. این دستاوردها با نتایج بسیاری از محققان ازجمله Adediran *et al.* (2004) و Dadrasan *et al.* (2015) مبنی بر برتری کودهای غیر شیمیایی از نظر وزن خشک نسبت به روش‌های شیمیایی مطابقت دارد. اوره اثر افزایشی بر رشد رویشی داشته از طرفی ورمی‌کمپوست دارای آنزیم‌هایی نظیر پروتئاز، آمیلاز، لیپاز، سلولاز و کتیناز است که در تجزیه مواد آلی خاک و در نتیجه در دسترس قرار دادن مواد مغذی مورد نیاز گیاه نقش مؤثری دارد و با فراهم آوردن محیط رشد مناسبی برای گیاه موجب افزایش رشد آن می‌گردد از این رو کاربرد تلفیقی این دو موجب افزایش عملکرد بیولوژیک گردید. در کل می‌توان چنین بیان کرد که از آن‌جایی که کود نیتروژن باعث افزایش میزان فتوسنتز و در نتیجه افزایش ذخیره کربوهیدرات گیاه می‌شود، کاربرد این گونه کودها باعث افزایش عملکرد گیاه می‌شود. همچنین قابل ذکر است که استفاده از کود ورمی‌کمپوست سبب افزایش هوموس و مواد آلی خاک، ویتامین‌ها، هورمون‌ها و آنزیم‌های گیاهی که در کودهای شیمیایی وجود ندارند، در خاک شده و بدین ترتیب سبب افزایش کمیت محصول می‌شوند. در مطالعه‌ای روی اثر کودهای آلی بر گیاه انیسون مشاهده شد که بیشترین عملکرد بیولوژیک با مصرف ۱۰ تن ورمی‌کمپوست حاصل گردید (Darzi *et al.*, 2010). نتایج مطالعه Saeid Nejad and Moghaddam (2010) نیز نشان داد که تیمار ورمی‌کمپوست بیشترین عملکرد بیولوژیک زیره سبز را داشت.

همچنین در پژوهشی که روی اثر کودهای نیتروژن‌دار و فسفره بر گیاه کنجد (*Sesamum indicum* L.) صورت گرفت مشاهده گردید که کاربرد ۴۴ کیلوگرم نیتروژن در هکتار سبب افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک نسبت به شاهد (بدون استفاده از نیتروژن) شد (Abdel Rahman, 2008).

بر اساس نظر Sreevalli *et al.* (2001) کاهش عملکرد در طی افزایش سطح تنش خشکی می‌تواند مربوط به افزایش اختصاص مواد فتوسنتزی به ریشه نسبت به بخش هوایی گیاه باشد. یکی از اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش تورژسانس و در نتیجه کاهش رشد و توسعه سلول‌ها خصوصاً در ساقه و برگ‌ها است. با کاهش رشد سلول، اندازه اندام محدود می‌شود و به همین دلیل است که اولین اثر محسوس کم‌آبی روی گیاهان را می‌توان از روی میزان کمتر سطح برگ یا ارتفاع گیاهان تشخیص داد. به‌علاوه در شرایط کم‌آبی، جذب مواد و عناصر غذایی نیز کاهش یافته و بنابراین رشد و توسعه برگ‌ها محدود می‌گردد. متعاقب کاهش سطح برگ، جذب نور نیز کاهش یافته و ظرفیت کل فتوسنتزی گیاه کاهش می‌یابد و بدیهی است که با محدود شدن فرآورده‌های فتوسنتزی در شرایط کمبود آب، رشد گیاه و نهایتاً عملکرد آن دچار نقصان می‌شود.

علت افزایش این صفات در حضور ورمی‌کمپوست با وجود افزایش تنش را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که در میزان تنش شدید کمپوست سبب افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک گردیده و گیاه همان میزان رطوبت را مورد استفاده قرار می‌دهد. نتایج این آزمایش با نتایج Yousefzadeh *et al.* (2015) بر گیاه دارویی بادرشبی (*Dracocephalum moldavica*) و Govahi *et al.* (2015) بر گیاه مریم گلی (*Salvia officinalis*) مطابقت دارد.

افزایش متابولیت‌های ثانویه و اجزای اسانس در زمان تنش نشان‌دهنده نقش حفاظتی این ترکیبات به‌عنوان عوامل غیر آنتی‌اکسیدانی می‌باشد که در نتایج مبنی بر افزایش مقدار منتون و کل سزکوئی ترپن‌ها (Charles *et al.*, 1990) در گیاه نعناع (*Mentha spicata* L.)، لینالول و کاویکول (Simon *et al.*, 1990) در گیاه ریحان (*Ocimum basilicum*) و میزان مونوترپن‌ها (Mohamed *et al.*, 2002) در گیاه جعفری (*Petroselinum crispum*) تحت تنش کم‌آبی در یک راستا قرار دارند. گزارش شده که با کاهش رطوبت خاک، درصد اسانس در گیاه نعناع سبز (*Mentha pulegium* L.) افزایش می‌یابد (Hassanpour *et al.*, 2014). در آزمایش‌های Figueroa-Perez *et al.* (2014) و Hosseinzadeh *et al.* (2016) روی نعناع فلفلی نیز بیشترین درصد اسانس در تنش متوسط کم‌آبی به‌دست آمد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با تشدید کم‌آبی، عملکرد اسانس کاهش یافت. کاهش عملکرد اسانس در نتیجه کاهش رطوبت خاک ممکن است ناشی از اثر زیان‌آور کم‌آبی شدید بر رشد و عملکرد پیکر رویشی گیاه باشد. اثرات نامناسب تنش خشکی در کاهش عملکرد اسانس توسط Ghanbari and Ariafar (2013) و Farhoudi *et al.* (2014) نیز گزارش گردیده است. در گزارشی مشابه نیز اثر سطوح مختلف رطوبت خاک روی گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) بررسی و گزارش شده که با کاهش رطوبت خاک، عملکرد اسانس کاهش ولی درصد اسانس افزایش یافت.

نتیجه‌گیری

از نتایج این آزمایش استنتاج می‌شود که در گیاه نعناع فلفلی با افزایش تنش کم‌آبی میزان عملکرد و ماده خشک کاهش ولی تا حدودی درصد اسانس گیاه افزایش یافت. در بین منابع کودی مختلف، کاربرد کود آلی ورمی‌کمپوست هم نقش موثری در بهبود عملکرد ماده خشک و هم در میزان فنل‌های برگ گیاه نعناع فلفلی داشت. ضمن اینکه با افزایش کاربرد ورمی‌کمپوست در تیمارهای مختلف آبیاری عملکرد ماده خشک و درصد اسانس افزایش داشت و بالاترین میزان ماده خشک و عملکرد اسانس در شرایط آبیاری مطلوب و کاربرد بیشترین ورمی‌کمپوست به‌دست‌آمد. عملکرد اسانس در دو رژیم آبی مطلوب و کم‌آبی متوسط (همراه با تیمار کودی ۱۴ تن ورمی‌کمپوست) حاصل شد. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان دریافت مصرف کود ورمی‌کمپوست تأثیر بیشتری بر عملکرد گیاه نعناع فلفلی به‌ویژه در شرایط تنش کم‌آبی نسبت به کود شیمیایی داشته و تا حدی اثرات منفی تنش کم‌آبی را نیز جبران می‌کند. در حالی‌که مصرف کودهای شیمیایی هرچند در شرایط مطلوب عملکرد مناسبی داشت، اما در شرایط تنش‌کم‌آبی تأثیری بر رشد و افزایش عملکرد گیاه نداشت. بنابراین، مصرف کودهای آلی در مدیریت منابع غذایی و رطوبتی در شرایط تنش کم‌آبی جهت حصول عملکرد مطلوب‌تر در راستای اهداف کشاورزی پایدار قابل توصیه می‌باشد. از این نتایج این‌گونه استنباط می‌شود که کاهش مصرف آب تا حد کم‌آبی متوسط نه تنها تأثیر معنی‌داری بر عملکرد اسانس نداشت بلکه از میزان آب مصرفی گیاه نیز کاسته شد. بنابراین توصیه می‌شود در کشت نعناع فلفلی در شرایط مشابه، آبیاری در ۷۵ درصد آب قابل دسترس خاک استفاده کودهای آلی و حداقل به میزان ۷ تن در هکتار انجام گیرد.

References

1. Abdel Rahman, A. 2008. Response of sesame to nitrogen and phosphorus fertilization in Northern Sudan. Journal of Applied Biosciences 8 (2): 304-308.
2. Abreu, I. N., and Mazzafera, P. 2005. Effect of water and temperature stress on the content of active constituents of Hypericum brasiliense Choisy. Plant Physiology and Biochemistry 43: 241-248.

3. Adediran, J. A., Taiwo, L. B., Akande, M. O., Sobulo, R. A., and Idowu, O. J. 2004. Application of organic and inorganic fertilizer for fertilizer for sustainable maize and cowpea yields in Nigeria. Journal of Plant Nutrition 27 (7): 1163-1181.
4. Afshar, R. K., Jovini, M. A., Chaichi, M. R., and Hashemi, M. 2014. Grain sorghum response to Arbuscular Mycorrhiza and phosphorus fertilizer under deficit irrigation. Agronomy Journal 106 (4): 1212-1218.
5. Anwar, M., Patra, D. D., Chand, S., Alpesh, K., Naqvi, A. A., and Khanuja, S. P. S. 2005. Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation, and oil quality of French basil: Communications in Soil Science and Plant Analysis 36 (13-14): 1737-1746.
6. Arnon, D. I. 1949.Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphennoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology 24 (1): 1-150.
7. Behera, S. K., and Panda, R. K. 2009. Effect of fertilization and irrigation schedule on water and fertilizer solute transport for wheat crop in a sub-humid sub-tropical region. Agriculture, Ecosystems and Environment 130: 141-155.
8. Charles, D. J., Joly, R. J., and Simon, J. E. 1990. Effects of osmotic stress on the essential oil content and composition of peppermint. Phytochemistry 29: 2837-2840.
9. Chen, J. 2006. The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility. International Workshop on Sustained Management of the Soil-rhizosphere System for Efficient Crop Production and Fertilizer Use.
10. Dadrasan, M., Chaichi, M. R., Pourbabaee, A. A., Yazdani, D., and Keshavarz Afshar, R. 2015. Deficit irrigation and biological fertilizer influence on yield and trigonelline production of fenugreek. Industrial Crops and Products 77: 156-162.
11. Daneshnia, F., Amini, A., and Chaichi, M. R. 2015. Surfactant effect on forage yield and water use efficiency for berseem clover and basil in intercropping and limited irrigation treatments. Agricultural Water Management 160: 57-63.
12. Darzi, M. T., Hadjseyed Hadi, M. R., and Rejali, F. 2010. Effects of vermicompost and phosphate biofertilizer application on yield and yield components in Anise (*Pimpinella anisum* L.). Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants 26 (4): 1-28. (in Persian).
13. Díaz-López, L., Gimeno, V., Simón, I., Martínez, V., Rodríguez-Ortega, W. M., and García-Sánchez, F. 2012. Jatropha curcas seedlings show a water conservation strategy under drought conditions based on decreasing leaf growth and stomatal conductance. Agricultural Water Management 105: 48-56.
14. Farhoudi, R., Dong-Jin Lee, D. J., and Hussain, M. 2014. Mild Drought Improves Growth and Flower Oil Productivity of German Chamomile (*Matricaria recutita* L.). 17 (1): 26-31.
15. Figueroa-Perez, M. G., Rocha-Guzman, N. E., Perez-Ram írez, I. F., Mercado-Silva, E., and Reynoso-Camacho, R. 2014. Metabolite Profile, Antioxidant Capacity, and Inhibition of Digestive Enzymes in Infusions of Peppermint (*Mentha piperita*) Grown under Drought Stress. Journal of Agriculture and Food Chemistry 62: 12027-12033.
16. Friedman, M., and Jürgens, H. S. 2000. Effect of pH on the stability of plant phenolic compounds. Journal of Agricultural and Food Chemistry 48 (6): 2101-2110.
17. Ghanbari, M., and Ariafar, S. 2013. The Effects of Water Deficit and Zeolite Application on Growth Traits and Oil yield of Medicinal Peppermint (*Mentha piperita* L). Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants 3 (1): 32-39.
18. Govahi, M., Ghalavand, A., Nadjafi, F., and Sorooshzadeh, A. 2015. Comparing different soil fertility systems in Sage (*Salvia officinalis*) under water deficiency. Industrial Crops and Products 74: 20-27.
19. Hassanpour, H., Khavari-Nejad, R. A., Niknam, V., Razavi, Kh., and Najafi, F. 2014. Effect of penconazole and drought stress on the essential oil composition and gene expression of *Mentha pulegium* L. (*Lamiaceae*) at flowering stage. Acta Physiologiae Plantarum 36: 1167-1175.
20. Herms, D. A., and Mattson, W. J. 1992. The dilemma of plants: To grow or defend. The Quarterly Review of Biology 67: 283-325.
21. Hernandez, I., Alegre, L., and Munne-Bosch, S. 2004. Drought-induced changes in flavonoids and other low molecular-weight antioxidants in *Cistus clusii* grown under Mediterranean field conditions. Tree Physiology 24: 1303-1311.
22. Hosseinzadeh, S. R., Amiri, H., and Ismaili, A. 2016. Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Photosynthetica 54 (1): 87-92.
23. Hura, T., Hura, K., and Grzesiak, S. 2008. Contents of total phenolics and ferulic acid, and PAL activity during water potential changes in leaves of maize single-cross hybrids of different drought tolerance. Journal of Agronmy and Crop Science 194: 104-112.
24. Kacperska, A. 1993. Water potential alteration-a prerequisite or a triggering stimulus for the development of freezing tolerance in overwintering herbaceous plants. In: Li PH, Christerson L (eds.) Advances in plant cold hardiness. CRC Press, Boca Raton, pp 73-91.

25. Kazem Alvandi, R., Sharifan, A., and Aghazadeh Meshghi, M. 2010.Study of chemical composition and antimicrobial activity of peppermint essential oil. Journal of Comparative Pathobiology 7 (4): 355-364.
26. Kim, H. J., Chen, F., Wang, X., and Choi, J. H. 2006. Effect of methyl jasmonate on phenolics, isothiocyanate, and metabolic enzymes in radish sprout (*Raphanus sativus* L.). Journal of Agricultural and Food Chemistry 54: 7263-7269.
27. Krizek, D. T., Kramer, G. F., Upadhyaya, A., and Mirecki R. M. 1993. UV-B Response of cucumber seedling grown under metal halid and high pressure sodium/deluxe lamps. Physiology of Plant 88: 350-358.
28. Lima, A. L. S., DaMatta, F. M., Pinheiro, H. A., Totola, M. R., and Loureiro, M. E. 2002. Photochemical responses and oxidative stress in two clones of *Coffea canephora* under water deficit conditions. Environmental Experimantal Botany 47: 239-247.
29. Makris, D. P., Kallithraka, S., and Kefalas, P. 2006. Flavonols in grapes, grape products and wines: Burden, profile and influential parameters. Journal of Food Composition and Analysis 19 (5): 396-404.
30. Mohamed, A. H. M., Harris, P. J., Henderson, C., and Senatore, F. 2002. Effect of Drought Stress on the Yield and Composition of Volatile Oils of Drought-Tolerant and Non-Drought-Tolerant Clones of Tagetes minuta. Planta Medica 68: 472-474.
31. Navarro, A. E., Portales, R. F., Sun-Kou, M. R., and Lianos, B. P. 2008. Effect of pH on phenol biosorption by marine seaweeds. Journal of Hazardous Materials 156 (1): 405-411.
32. Nedko, K., and Georgi, V. Georgiev. 1991. A Study of Different Irrigation Practices Used for Mentha piperita in Bulgaria. Journal of Essential Oil Research 3 (6): 435-440.
33. Omidbaigi, R., Hassani, A., and Sefidkon, F. 2003. Essential oil content and composition of sweet Basil (*Ocimum basilicum*) at different irrigation regimes. Journal of Essential Oil Bearing Plants 6: 104-108.
34. Palomino, O., Gomez-Serranillos, M., Slowing, K., Carretero, E., and Villar, A. 2000. Study of polyphenols in grape berries by reversed-phase high-performance liquid chromatography. Journal of Chromatography A. 87 (1): 449-451.
35. Pant, A. P., Radovich, T. J., Hue, N. V., Talcott, S. T., and Krenek, K. A. 2009. Vermicompost extracts influence growth, mineral nutrients, phytonutrients and antioxidant activity in pak choi (*Brassica rapa* cv. Bonsai, Chinensis group) grown under vermicompost and chemical fertiliser. Journal of the Science of Food and Agriculture 89 (14): 2383-2392.
36. Saeid Nejad, A. H., and Rezvani Moghaddam, P. 2010. Evaluate the effect of compost, vermicompost and manure on yield, yield components and the percentage of cumin. Journal of Horticultural Science 24 (2): 142-148. (in Persian with English abstract).
37. Sangtarash, M. H., Qaderi, M. M., Chinnappa, C. C., and Reid, D. M. 2009. Carotenoid differential sensitivity of canola (*Brassica napus*) seedlings to ultraviolet-B radiation, water stress and abscisic acid. Environmental and Experimental Botany 66: 212-219.
38. SAS Institute Inc. 2009. The SAS System for Windows, Release 9.0. Cary, NC, USA: Statistical Analysis Systems Institute.
39. Sheteawi, S. A., and Tawfik, K. M. 2007. Interaction effect of some biofertilizers and irrigation water regime on Mungbean (*Vigna radiate*) growth and yield. Applied Sciences Research 3 (3): 251-262.
40. Simon, J. E., Bubenheim, R. D., Joly, R. J., and Chares, D. J. 1992. Water stress induced alteration in essential oil content and composition of sweet basil. Journal of Essential Oil Research 4: 71-75.
41. Soland, S. F., and Laima, S. K. 1999. Phenolics and cold tolerance of *Brassica napus*. Plant Agriculture 1: 1-5.
42. Sreevalli, Y., Baskaran, K., Chandrashekara, R. S., and kulkarni, R. N. 2001. Preliminary observations on the effect of irrigation frequency and genotypes on yield and alkaloid concentration in petriwinkle. Journal of Medicinal and Aromatic plant Science 22: 356-358.
43. Sultana, N., Ikeda, T., and Itoh, R. 1999. Effect of Na Cl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. Environmental and Experimental Botany 42 (3): 211-220.
44. Sun, X. P., Yan, H. L., Kang, X. Y., and Ma, F. W. 2013. Growth, gas exchange, and water-use efficiency response of two young apple cultivars to drought stress in two scion-one rootstock grafting system. Photosynthetica 51 (3): 404-410.
45. Velaiy, L., Noormohammadi, Gh., Hasanlu, T., Haj Sydhady, M. R., and Valaee, N. 2010. Effect of biological fertilizer vermicompost and fruitful phosphate on growth and yield of milkthistle. First National Conference on Electronic Agriculture and Sustainable Natural Resources, 21 December 2013, Tehran p. 1-5. (in Persian with English abstract).
46. Yousefzadeh, S., Modarres Sanavy, S. A. M., Govahi, M., and Khatamian Oskooie, O. S. 2015. Effect of Organic and Chemical Fertilizer on Soil Characteristics and Essential Oil Yield in Dragonhead, Journal of Plant Nutrition 38 (12): 1862-1876.
47. Zhao, X., Iwamoto, T., and Carey, E. E. 2007. Antioxidant capacity of leafy vegetables as affected by high tunnel environment, fertilisation and growth stage. Journal of the Science of Food and Agriculture 87 (14): 2692-2699.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 4, Winter. 2020, p. 661-672

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸، ص. ۶۷۲-۶۶۱

Effect of Organic Fertilizers and Urea Fertilizer on Phenolic Compounds, Antioxidant Activity, Yield and Yield Components of Peppermint (*Mentha piperita* L.) under Drought Stress

H. Keshavarz[1], S. A. M. Modarres-Sanavy[2*], F. Sefidkon[3], A. Mokhtassi-Bidgoli[4]

Received: 06-05-2019
Accepted: 01-09-2019

Introduction

The shortage of water in Iran is always considered as a limiting factor in the production of crops. Among them, its effect on growth, absorption of nutrients and the metabolic processes of plants is different and can reduce the growth. The amount of this decrease is always associated with significant changes in the qualitative properties of plants, including medicinal plants. Hence, this investigation was carried out with the aim of improving the essential oil yield of peppermint through integrated nutrient management under the drought stress conditions.

Matherials and Methods

This experiment was carried out at the field research station of the Agricultural Research Center of Tarbiat Modares University in Karaj during 2018. The experiment was conducted as factorial arrangement based on a randomized complete block design with three replications. Treatments included six fertilizer rates (F1: control, F2: 140 kg ha^{-1} urea, F3: 110 kg ha^{-1} urea + 3.5 ton ha^{-1} vermicompost, F4: 70 kg ha^{-1} urea + 7 ton ha^{-1} vermicompost, F5: 35 kg ha^{-1} urea + 110 ton ha^{-1} vermicompost and F6: 14 ton ha^{-1} vermicompost) and three irrigation regimes (irrigation was suppressed until 75 (control), 60 (mild stress) and 45% (sever stress) soil moisture was reached). According to the recommended N requirements (140 kg ha^{-1}), the vermicompost was broadcast by hand and incorporated immediately into the soil using a rototiller three days before planting. The urea was applied at two stages. Because of sandy soil, plots were irrigated frequently (interval of 1-2 days) with drip irrigation system to avoid wilting during the plant growth. The plants were harvested at floral initiation by cutting plants about 10 cm above the soil surface. Data of growth parameters were measured as plant height (cm), LAI, dry weights of herbage, essential oil percentage and oil yield. (which were collected at floral initiation). Analysis of variance (ANOVA) of the data from each attribute was computed using the SAS package (SAS Institute, 2009). Significant of differences among irrigation regimes, various fertilizers and their interaction for variables were compared by LSD test ($P \leq 0.05$).

Results and Discussion

The results showed that drought stress reduced leaf chlorophyll content, DPPH, plant height, leaf area index, shoot dry weight and oil yield. Although the amount of flavonoids, carotenoids, total phenols and oil percentage first increased and then decreased by increasing drought stress. Increasing the rate of vermicompost in fertilizer treatment increased the physiological and vegetative traits of peppermint plant. According to the results of interaction between two treatments, the highest plant height, shoot dry weight and essential oils yield were resulted under normal irrigation and 14 tons ha^{-1} vermicompost. The highest total phenol content was obtained in moderated drought stress and combined fertilization of 70 kg of urea with 7 tons ha^{-1} of vermicompost. Also, the highest percentage of essential oil and flavonoids content were observed in moderated drought stress treatment with 14 tons ha^{-1} of vermicompost fertilizer. In general, the results showed that among different treatments of drought, vermicompost fertilizer had a positive effect on vegetative and physiological functions of plants. Application of vermicompost combined with chemical fertilizer increased plant height, essential oil percentage and essential oil yield.

Conclosions

The results revealed that organic fertilizer treatment improves essential oil yield and physiological traits of peppermint by improving various chemical, physical and biological characteristic of the soil. As a result, organic and chemical fertilizer combination reduces the requirement for synthetic fertilizer and improves performance and environmental sustainability.

Keywords: Compost, DPPH, Oil content, Pigment

1- Ph.D. Candidate of Agronomy, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
2- Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
3- Professor, Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran Iran
4- Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
(*- Corresponding Author Email: modaresa@modares.ac.ir)